

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-355547

(43) 公開日 平成11年(1999)12月24日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 4 N 1/387

H 0 4 N 1/387

G 0 6 T 3/00

G 0 9 C 5/00

G 0 9 C 5/00

G 0 6 F 15/66 3 4 0

H 0 4 N 7/08

H 0 4 N 7/08 Z

7/081

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号

特願平10-140726

(22) 出願日

平成10年(1998) 5月22日

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州

アーモンク (番地なし)

(72) 発明者 清水 周一

神奈川県大和市下鶴間1623番地14 日本アイ・ピー・エム株式会社 東京基礎研究所内

(74) 代理人 弁理士 坂口 博 (外1名)

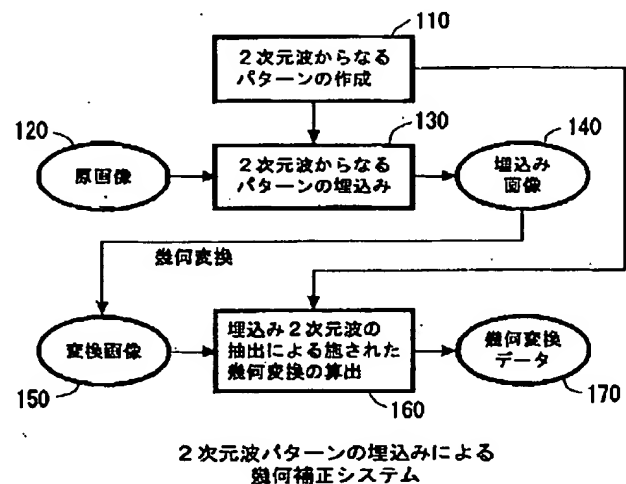
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 幾何変換特定システム

(57) 【要約】

【課題】 原画像を用いずに画像になされた幾何変換を容易に精度よく高速に求めることのできる方法およびシステムを提供することである。

【解決手段】 本発明の2次元波パターンの埋め込みによる幾何補正システムの概要は、対称軸を持たない2次元波からなるパターンの作成、2次元波からなるパターンの実空間での埋め込み、埋め込み2次元波の抽出による施された幾何変換の算出からなる。2次元波からなるパターンの作成とは、本発明の幾何補正システムに適したパターンを作るための2次元波パラメータ・セットを算出することを言う。2次元波からなるパターンの実空間での埋め込みとは、原画像に2次元波からなるパターンを加えることを言う。埋め込み2次元波の抽出による施された幾何変換の算出とは、幾何変換が施された画像から埋め込まれた2次元波のパラメータを算出し、埋め込んだパターンの2次元波パラメータ・セットと比較することにより、埋め込み画像に施された幾何変換を求めることを言う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】画像になされた幾何変換を特定するための2次元波を画像に埋め込む、2次元波埋め込みシステムであって、(1)画像を記憶装置に記憶する手段と、

(2)対称性を持たない2次元波の集まりからなるパターンを記憶装置に記憶する手段と、(3)前記記憶装置に記憶された画像に、前記パターンを実空間で埋め込む手段と、を含むことを特徴とする、画像への2次元波埋め込みシステム。

【請求項2】電子透かし埋め込みシステムであって、

(1)画像を記憶装置に記憶する手段と、(2)対称性を持たない2次元波の集まりからなるパターンを記憶装置に記憶する手段と、(3)前記記憶装置に記憶された画像に、前記パターンを実空間で埋め込む手段と、

(4)前記パターンの埋め込まれた画像にさらに電子透かしを埋め込む手段と、を含むことを特徴とする、電子透かし埋め込みシステム。

【請求項3】位置補正パターン印刷システムであって、

(1)画像を記憶装置に記憶する手段と、(2)対称性を持たない2次元波の集まりからなるパターンを記憶装置に記憶する手段と、(3)前記記憶装置に記憶された画像に、前記パターンを実空間で埋め込む手段と、

(4)前記パターンの埋め込まれた画像を印刷する手段と、を含むことを特徴とする、位置補正パターン埋め込みシステム。

【請求項4】位置補正パターン埋め込みシステムであって、

(1)物体の画像を記憶装置に記憶する手段と、(2)対称性を持たない2次元波の集まりからなるパターンを記憶装置に記憶する手段と、(3)前記記憶装置に記憶された画像に、前記パターンを実空間で埋め込む手段と、(4)前記パターンの埋め込まれた画像を物体に埋め込む手段と、を含むことを特徴とする、位置補正パターン埋め込みシステム。

【請求項5】前記パターンを埋め込む手段(3)が、前記パターンを実空間で画質を劣化させないように制御しながら埋め込む手段である、請求項1乃至4の何れかに記載のシステム。

【請求項6】2次元波が埋め込まれた画像から、前記2次元波を抽出することにより、画像になされた幾何変換を特定する、幾何変換特定システムであって、(1)記憶装置に記憶された画像から、画像に埋め込まれた2次元波を抽出する手段と、(2)予め定義された対称性をもたない2次元波と、前記抽出された2次元波を比較する手段と、(3)前記比較の結果により、画像になされた、拡大縮小率、回転角、反転、非等方拡大縮小率、平行移動量を含む、線形座標変換を算出する手段と、を含むことを特徴とする、幾何変換特定システム。

【請求項7】2次元波が埋め込まれた画像から、前記2次元波を抽出することにより、画像になされた幾何変換を特定し、補正する幾何補正システムであって、(1)

記憶装置に記憶された画像から、画像に埋め込まれた2次元波を抽出する手段と、(2)予め定義された対称性をもたない2次元波と、前記抽出された2次元波を比較する手段と、(3)前記比較の結果により、画像になされた、拡大縮小率、回転角、反転、非等方拡大縮小率、平行移動量を含む、線形座標変換を算出する手段と、

(4)前記算出された線形座標変換を用いて、前記画像の幾何補正を行う手段と、を含むことを特徴とする、幾何補正システム。

10 【請求項8】電子透かし抽出システムであって、(1)記憶装置に記憶された画像から、画像に埋め込まれた2次元波を抽出する手段と、(2)予め定義された対称性をもたない2次元波と、前記抽出された2次元波を比較する手段と、(3)前記比較の結果により、画像になされた、拡大縮小率、回転角、反転、非等方拡大縮小率、平行移動量を含む、線形座標変換を算出する手段と、

(4)前記算出された線形座標変換を用いて、前記画像の幾何補正を行う手段と、(5)前記幾何補正の行われた画像から電子透かしを抽出する手段と、を含むことを特徴とする、電子透かし抽出システム。

20 【請求項9】位置制御システムであって、(1)記憶装置に記憶された物体の画像から、画像に埋め込まれた2次元波を抽出する手段と、(2)予め定義された対称性をもたない2次元波と、前記抽出された2次元波を比較する手段と、(3)前記比較の結果により、画像になされた、拡大縮小率、回転角、反転、非等方拡大縮小率、平行移動量を含む、線形座標変換を算出する手段と、

(4)前記算出された線形座標変換を用いて、前記画像を有する物体の位置制御を行う手段と、を含むことを特徴とする、位置制御システム。

30 【請求項10】前記画像になされた線形座標変換を算出する手段(3)が、拡大縮小率、回転角、反転、非等方拡大縮小率、平行移動量を含む線形座標変換を同時に算出することを特徴とする、請求項6乃至9の何れかに記載のシステム。

【請求項11】画像になされた幾何変換を特定するための2次元波を画像に埋め込む、2次元波埋め込み方法であって、(1)画像を記憶装置に記憶する段階と、

40 (2)対称性を持たない2次元波の集まりからなるパターンを記憶装置に記憶する段階と、(3)前記記憶装置に記憶された画像に、前記パターンを実空間で埋め込む段階と、を含むことを特徴とする、画像への2次元波埋め込み方法。

【請求項12】電子透かし埋め込み方法であって、

(1)画像を記憶装置に記憶する段階と、(2)対称性を持たない2次元波の集まりからなるパターンを記憶装置に記憶する段階と、(3)前記記憶装置に記憶された画像に、前記パターンを実空間で埋め込む段階と、

50 (4)前記パターンの埋め込まれた画像にさらに電子透かしを埋め込む段階と、を含むことを特徴とする、電子

透かし埋め込み方法。

【請求項13】2次元波が埋め込まれた画像から、前記2次元波を抽出することにより、画像になされた幾何変換を特定する、幾何変換特定方法であって、(1)記憶装置に記憶された画像から、画像に埋め込まれた2次元波を抽出する段階と、(2)予め定義された対称性をもたない2次元波と、前記抽出された2次元波を比較する段階と、(3)前記比較の結果により、画像になされた、拡大縮小率、回転角、反転、非等方拡大縮小率、平行移動量を含む、線形座標変換を算出する段階と、を含むことを特徴とする、幾何変換特定方法。

【請求項14】電子透かし抽出方法であって、(1)記憶装置に記憶された画像から、画像に埋め込まれた2次元波を抽出する段階と、(2)予め定義された対称性をもたない2次元波と、前記抽出された2次元波を比較する段階と、(3)前記比較の結果により、画像になされた、拡大縮小率、回転角、反転、非等方拡大縮小率、平行移動量を含む、線形座標変換を算出する段階と、

(4)前記算出された線形座標変換を用いて、前記画像の幾何補正を行う手段と、(5)前記幾何補正の行われた画像から電子透かしを抽出する段階と、を含むことを特徴とする、電子透かし抽出方法。

【請求項15】画像になされた幾何変換を特定するための2次元波を画像に埋め込むプログラムを含む媒体であって、該プログラムが、(1)画像を記憶装置に記憶する機能と、(2)対称性を持たない2次元波の集まりからなるパターンを記憶装置に記憶する機能と、(3)前記記憶装置に記憶された画像に、前記パターンを実空間で埋め込む機能と、を含むことを特徴とする、プログラムを含む媒体。

【請求項16】電子透かしを埋め込むためのプログラムを含む媒体であって、該プログラムが、(1)画像を記憶装置に記憶する機能と、(2)対称性を持たない2次元波の集まりからなるパターンを記憶装置に記憶する機能と、(3)前記記憶装置に記憶された画像に、前記パターンを実空間で埋め込む機能と、(4)前記パターンの埋め込まれた画像にさらに電子透かしを埋め込む機能と、を含むことを特徴とする、プログラムを含む媒体。

【請求項17】2次元波が埋め込まれた画像から、前記2次元波を抽出することにより、画像になされた幾何変換を特定するプログラムを含む媒体であって、該プログラムが、(1)記憶装置に記憶された画像から、画像に埋め込まれた2次元波を抽出する機能と、(2)予め定義された対称性をもたない2次元波と、前記抽出された2次元波を比較する機能と、(3)前記比較の結果により、画像になされた、拡大縮小率、回転角、反転、非等方拡大縮小率、平行移動量を含む、線形座標変換を算出する機能と、を含むことを特徴とする、プログラムを含む媒体。

【請求項18】電子透かしを抽出するためのプログラム

を含む媒体であって、該プログラムが、(1)記憶装置に記憶された画像から、画像に埋め込まれた2次元波を抽出する機能と、(2)予め定義された対称性をもたない2次元波と、前記抽出された2次元波を比較する機能と、(3)前記比較の結果により、画像になされた、拡大縮小率、回転角、反転、非等方拡大縮小率、平行移動量を含む、線形座標変換を算出する機能と、(4)前記算出された線形座標変換を用いて、前記画像の幾何補正を行う手段と、(5)前記幾何補正の行われた画像から電子透かしを抽出する機能と、を含むことを特徴とする、プログラムを含む媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本願は、2次元波を埋め込んだ画像が幾何変換されたとき、その画像から歪んだ2次元波を検出し、元の2次元波との対応により、適用された幾何変換を精度よく求める方法およびシステム、またこれを利用した幾何変換耐性をもつ電子透かしシステムに関する。より詳細には、多数の2次元波を意図的に画像に埋め込んでおくことにより、埋め込んだ2次元波の周期の大きさと方向がどのように変換されたかの情報を算出することで、2次元波を埋め込む前のオリジナルの原画像を使用せずに、画像に施された幾何変換を高速に精度よく求める方法およびシステムに関する発明である。

【0002】

【従来の技術】従来、空間の回転が周波数空間(Fourier Transformed Space)の分布にも回転を起こすこと自体は知られている。E.De CastroとC. Morandi (IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligent, Vol. PA MI-9, No. 5, pp.700-703, 1987)は 回転された画像の幾何補正 (geometrical registration) にこの原理を適用しているが、意図的に2次元波を埋め込むことをせず、原画像と回転された画像との周波数空間での相関を最大にする回転角を繰り返し探索する方法を用いている。従って、オリジナルの原画像を用いることにより初めて、施された線形変換が求められる。USP 5636292 "STEGANOGRAPHY METHODS EMPLOYING EMBEDDED CALIBRATION DATA"では、2次元パターン自体に多重ビットの同定機能を埋め込む電子透かしの方法が記載されている。この発明では電子透かしとして埋め込む情報 (information signal) と、画像になされた変形を割り出す情報 (information signal) が一体化されており、複数の2次元波からなるパターンの埋め込みに当たって、埋め込みパターンが対称軸を少なくとも一つは持つ。しかしながら、このような対称性があると、パターン抽出の際の線形変換が複数の解をもつこととなり、幾何変換の特定が完全にはできない。また USP 5636292では、2次元波パターンの埋め込まれた画像を、別の空間(周波数空間)に変換してフィルターをかけ、再度、実空間に戻す方法を取る。しかしながら、このような方法では、不可視性や画質の

劣化の制御が容易ではない。著作権保護のために埋め込む電子透かしは、それを取り除く操作に対しての対抗策を必要とする。電子透かしを取り除く操作として、切抜き、回転、拡大縮小、非等方拡大縮小などの幾何変換 (geometrical transformation) がある。しかしながら、従来の技術はこれらの電子透かしを含む画像になされた幾何変換を正確に高速に特定し、補正するための単独の手段を提供していない。さらに製造工程で、製造物の精密な位置制御を必要とする場合、外的環境の変化により、製造物が幾何変形を受けた時の位置制御を可能とする手段を従来の技術は提供しない。

#### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明が解決しようとする課題は、オリジナルの原画像を用いずに画像になされた幾何変換を容易に精度よく高速に求めることのできる方法およびシステムを提供することである。また別の課題は、不可視性や画質の劣化の制御が容易な、画像へ2次元波を埋め込む方法及びシステムを提供することである。また別の課題は、電子透かしを含む画像に対してなされた幾何変換を、精度よく高速に求めることのできる方法およびシステムを提供することである。また別の課題は、電子透かし画像への、切抜き、回転、拡大縮小、非等方拡大縮小などが行われても、原画像に施された幾何変換を検出することのできる方法およびシステムを提供することである。また別の課題は、精密な位置補正を行う必要のある製造物になされた幾何変換を読み取り、該製造物の的確な位置制御を行う方法及びシステムを提供することである。

#### 【0004】

【課題を解決するための手段】本発明の2次元波パターンの埋め込みによる幾何補正システムの概要は、対称軸を持たない2次元波からなるパターンの作成、2次元波からなるパターンの実空間での埋め込み、埋め込み2次元波の抽出による施された幾何変換の算出からなる。2次元波からなるパターンの作成とは、本発明の幾何補正システムに適したパターンを作るための2次元波パラメータ・セットを算出することを行う。2次元波からなるパターンの実空間での埋め込みとは、原画像に2次元

$$P(u) = \sum_m r_m \exp(2 \pi i (w_m^T u + q_m)) \quad \text{式(1)}$$

【0008】ここで、各画素点は  $x$  および  $y$  が整数値上にあるとする。また、 $w_m = (w_{xm}, w_{ym})$  は2次元波の波数ベクトルで、 $r_m$  は2次元波の振幅、 $q_m$  はその位相を表す。 $i$  は虚数単位、 $T$  は転置ベクトルおよび転置行列を作る作用素である。肩に転置作用素  $T$  なければベクトルは縦ベクトルとし、あれば横ベクトルとする。従って、 $w_m^T u$  は転置作用素  $T$  の定義に従い、内積  $w_m^T u =$

$$P(u) = \sum_m r_m \cos(2 \pi (w_m^T u + q_m)) \quad \text{式(3)}$$

【0010】点  $u$  の線形変換は次のようになる。

$$u' = A u + b \quad \text{式(4)}$$

【0011】ここで点  $u'$  に移動する幾何変換を画像  $I(u)$  に施したとき、新しい画素点  $u'$  での画素値  $I'$

波からなるパターンを加えることを言う。埋め込み2次元波の抽出による施された幾何変換の算出とは、幾何変換が施された画像から埋め込まれた2次元波のパラメータを算出し、埋め込んだパターンの2次元波パラメータ・セットと比較することより、埋め込み画像に施された幾何変換を求めることを言う。

【0005】図1に本発明の幾何補正システムのブロック図を示す。まずブロック130で、記憶装置に記憶された原画像120へステップ110で作成され記憶された、対称軸を持たない2次元波を実空間で埋め込む。このようにして作成された埋め込み画像140が、何らかの要因より、幾何変換され、変換画像150となる。ここで何らかの要因とはたとえば人為的に変換された幾何変換や、スキャナー、ファックスなどにより機械的な幾何変換等を含む。ブロック160で画像に埋め込まれた2次元波を抽出し、予め定義された2次元波と、抽出された2次元波を比較し、この比較結果により、画像になされた、拡大縮小率、回転角、反転、非等方拡大縮小率、平行移動量を含む、線形座標変換を算出する。画像になされた幾何変換を特定するだけであればここまでの処理で終わる。さらに幾何補正を行うには、特定された幾何変換を用いて幾何補正(逆変換)をすることにより、幾何変換データ170が作成される。

【0006】対称軸を持たない2次元波を意図的に埋め込み抽出する方法は、原画像を用いずに画像になされた幾何変換を容易に精度よく高速に求めることができる。また実空間で埋め込むので不可視性や画質の劣化の制御が容易になる。さらに、電子透かしと独立に単独に機能するので、電子透かし画像への、切抜き、回転、拡大縮小、非等方拡大縮小などが行われても、原画像に施された幾何変換を正確に高速に検出することが可能になる。

#### 【0007】

【発明の実施の形態】本発明の基本となる実施例を説明する。

#### ☆基本原理

画像の座標を  $u = (x, y)$  としたとき、多数の2次元波からなるパターンとは、次式をいう。

$w_{xm} x + w_{ym} y$  を表す。画素値は実数なので、埋め込みパターンも実数でなければならず、必ず、逆向きの波がある。便宜上、 $m$  に対する逆向きの波を  $-m$  と記すと、以下の関係が成立する。

$$w_{-m} = -w_m, \quad r_{-m} = r_m, \quad q_{-m} = q_m \quad \text{式(2)}$$

【0009】これにより、式(1)は、次のように書き換えることができる。

(u) に施したとき、新しい画素点  $u'$  での画素値  $I'$

(u') は次式で与えられる。

$$I'(u') = I(A^{-1}(u'-b)) = I(u) \quad \text{式(5)}$$

【0012】これにともない、変換された画像での埋め込みパターン P'(u) はつぎのようになる。

$$P'(u') = P(A^{-1}(u'-b)) \quad \text{式(6)}$$

【0013】ここで B を次のように置く。

$$B = (A^{-1})^T \quad \text{式(7)}$$

【0014】式(6)の P に式(1)を代入すると、変換された画像では、元の 2 次元波数  $w_m$  の代わりに  $w'_m = B w_m$  について和をとり、次のように表せる。

$$r'_m = r(w_m), \quad q'_m = q_m - (B w_m)^T b \quad \text{式(8)}$$

【0015】すなわち、変換された画像においても埋め

$$w'_m = B w_m$$

【0016】行列 B を求めることにより、式(7)の逆変換を用いて座標変換 A を求めることができる。こ

$$A = (B^{-1})^T$$

【0017】なお、下記に述べる本発明では、埋め込まれた 2 次元波の波数ベクトル  $w'_m$  を抽出するのに、離散

$$G(k) = \sum_u \exp(-2\pi i k^T u / N) P(u) \quad \text{式(11)}$$

【0018】ここで、N は DFT を行うときの領域の幅で、和をとる  $u = (x, y)$  は次式のように、一辺が N 個

$$\begin{aligned} x &= x_0, x_0+1, x_0+2, \dots, x_0+N-1, \\ y &= y_0, y_0+1, y_0+2, \dots, y_0+N-1 \end{aligned} \quad \text{式(12)}$$

【0019】 $G(k)$  は  $k = (k_x, k_y)$  の各  $k_x$  と  $k_y$  に関し周期 N の関数になるので、本明細では、説明の便宜

$$\begin{aligned} k_x &= -N/2+1, -N/2+2, \dots, 0, 1, 2, \dots, N/2 \\ k_y &= -N/2+1, -N/2+2, \dots, 0, 1, 2, \dots, N/2 \end{aligned} \quad \text{式(13)}$$

【0020】DFT で各 2 次元波がどのように変換されるかを見るために、式(11)の  $P(u)$  に 2 次元波  $\exp(2$

$$\begin{aligned} |G(k)| &= |\sin(Np(w_x - k_x/N)) / \sin(p(w_x - k_x/N))| |\sin(Np(w_y - k_y/N)) / \sin(p(w_y - k_y/N))| \end{aligned} \quad \text{式(14)}$$

【0021】式(14)は、波数ベクトル  $w = (w_x, w_y)$  の各成分が必ずしも整数を DFT の周期 N で割った値でなくても、DFT によって、近い  $k_x/N$ 、 $k_y/N$  で検出できることを意味する。 $G(k)$  が  $k$  に関して最大となるのは、 $k$  の値が  $Nw$  に近いときである。 $w$  が格子点上にあるとき、すなわち、 $k=Nw$  となる  $k$  が存在すれば、そこで最大値  $G(k) = N^2$  をとり、他の格子点での値はゼロである。 $G(k)$  の最大値が最も小さくなるのは  $w$  が格子点の対角線上にくるとき、すなわち、 $(k_x+1/2, k_y+1/2) = Nw$  となる  $k$  が存在するときは、そこで最大値  $G(k) = (1/\sin(p/2N))^2$ 、約  $0.4N^2$  をとり、格子点が離れるとその差の逆数に比例して緩やかに減衰する。また、式(11)の DFT で windowing function (S. M. Kay and S. L. Marple, Jr., "Spectrum analysis-a modern perspective," Proc. IEEE, vol. 69, no. 11, pp. 1380-1419, 1981) を使うことで、すなわち、式(11)に周辺の影響を補正する比重を挿入することで、格子点  $k$  が波数ベクトル  $Nw$  から離れたときに  $G(k)$  が大きく減衰するように改良できる。従って、DFT の幅 N を 2 のべき乗にとって Fast Fourier Transformation (FFT) (\*) を使用しても、回転、拡大縮小しても、

込まれたパターンは依然として 2 次元波の集まりからなる。従って、埋め込んだパターンの 2 次元波の波数ベクトルを  $w_m$  とし、変換を施した画像から抽出されたパターンの 2 次元波の波数ベクトルを  $w'_m$  とすると、次のようになる。

$$\text{式(9)}$$

れが本発明の基本原理—その 1 である。

$$\text{式(10)}$$

的 Fourier Transformation (DFT) を用いる。この変換は、次式のようにかける。

の画素点からなる正方形の領域上を走ることになる。

上、次式のような原点を含む格子点(整数値の組)の領域で  $G(k)$  を計算するものとする。

$\pi i (w^T u)$  を代入すると、次式のようになる。

$$\text{式(14)}$$

DFT を行ったとき、埋め込んだパターンの各 2 次元波の近似値が格子点上にピークとして  $G(k)$  に現れる。これが、本発明の基本原理—その 2 である。

【0022】☆ 2 次元波からなる埋め込みパターンの作成 2 次元波からなる埋め込みパターンの作成では、人間の目で検知しにくく、かつ、プログラムからは波数ベクトルの抽出や幾何変換の行列の算出がしやすいよう、式(1)及び(3)で定義されるパターンの 2 次元波パラメータ・セット、波数ベクトル  $w_m$  を選択し、振幅  $r_m$  及び位相  $q_m$  の値の設定する。図 4 に示すように、非対称な分布の波数ベクトル  $w_m$  を疑似ランダムに生成し、2 次元波の振幅  $r_m$  を人間の目に検知しにくい大きさに設定し、埋め込みパターンの絶対値  $|P(u)|$  の格子点上での最大値が小さくなるよう、2 次元波の位相  $q_m$  を最適化する。この手続きを計算機上で自動的に行うことにより、鍵に応じた埋め込みパターンを作成し、2 次元波からなる埋め込みパターンを所有者同定マークやカテゴリ特定として使用できる。ここで、波数ベクトルの分布が対称性 S を持つということは、埋め込みパターンに含まれる任意の波数のベクトル  $w_m$  に対し、次式を満足す

る  $m'$  が必ず存在することをいう。

$$w_m' = S w_m \quad \text{式 (15)}$$

【0023】もし、かかる対称性  $S$  があると、行列  $B$  が式 (9) を満たせば、埋め込んだ波数ベクトルと抽出された波数ベクトルとの対応関係を変更することにより、行列  $BS$  も式 (9) を満たすようになる。埋め込みパターンが実数であるため、式 (2) の示す、原点对称は避けられず、行列  $B$  と  $-B$  との二つの解を持たざるを得ないが、それ以外の解は、波数ベクトルの分布において意図的に対称性を破ることにより、避けることができる。この対称性の破れは、波数ベクトルの部分集合についても成立すべきである。なぜならば、2次元波が元の画像にある周期性の影に隠れたり、また、幾何変換以外の画像処理で壊されたりして、必ずしもすべての2次元波の波数ベクトルが画像から抽出できるわけでないからである。それゆえ、ランダム性の導入によって対称性を破る波数ベクトル分布を作成する手法が有効である。このランダム性は、回転したとき、偶然、多くの点が  $X$  軸上、あるいは  $Y$  軸上に揃うことを防ぐためにも重要である。具体的には、下記のようにしてランダムな波数ベクトル分布を作成する。

【0024】〔全域ランダム分布作成法〕 図5に示すように、波数ベクトルの範囲、例えば、原点を含む正方領域を定めておき、ランダムに波数ベクトルを発生させ、次に、それぞれの波数ベクトルが所定の距離以上離れるために、近い波数ベクトルの組があれば互いに反対の向きに波数ベクトルを移動させる操作を、すべての組について所定の距離だけ離れるまでつづける。図5で、波数ベクトルの個数から、ステップ520で擬似乱数を用いてランダムに波数ベクトルを生成し、ステップ540で、波数ベクトルが互いに離れているかどうかを判断し、もし離れていない場合は、ステップ530で、それぞれの波数ベクトルが所定の距離以上離れるために、近い波数ベクトルの組があれば互いに反対の向きに波数ベクトルを移動させる。このようにしてすべての組について所定の距離だけ離れるまでつづけることにより、ステップ550において、非対称な分布の波数ベクトルができる。

【0025】〔細胞ランダム分布作成法〕 図6に示すように、ステップ610で各波数ベクトルが1個入る領域を事前に定めておき、その領域で波数ベクトルをステップ620でランダムに発生させ、次に、ステップ640で隣り合った領域の波数ベクトル組が所定の距離より近い場合、ステップ630で互いに反対の向きに移動させ、各、隣り合った領域の波数ベクトルの組が所定の距離以上の離れるようにする。これによりステップ650で非対称な分布の波数ベクトルができる。各波数ベクトルが入る領域を最初から離しておけば、所定の距離以上の離れるようにするステップ630を省略できる。図9は、細胞ランダム分布作成法で作成された波数ベクトル

の分布の例である。中央が原点で、128個の波数ベクトルがランダムに分布している。

【0026】〔螺旋ランダム分布作成法〕 図7に示すように、ステップ720で波数ベクトルを一定の側に順次、原点からの距離が増加するよう、ランダムに発生させる。ステップ740及びステップ730で直前の波数ベクトルからの距離、原点からの距離の増加分に範囲を持たせ、ランダムに波数ベクトルを発生させる。図11が螺旋ランダム分布作成法で作成した波数ベクトル分布の例である。中央が原点で、86個の波数ベクトルがランダムに分布している。

【0027】埋め込んだパターンが人間の目に見えないようにするには、式 (1) 及び (3) の  $r_m$  は小さい値にする。 $r_m$  は一定値にとるか、ほぼ一定値にとるか、または、原点に近いほど緩やかに大きくなるようにする。原点に近いほど大きな値に取るのは、自然画像にDFTをかけた場合、小さい波数ほど、大きなスペクトルパワーをもつことが多いからである。埋め込んだ画像から2次元波を抽出するとき、2次元波の振幅  $r_m$  のとりうる範囲が限定されていることを利用する。2次元波の波数ベクトル  $w_m$ 、振幅  $r_m$  が定まっても、2次元波の位相  $q_m$  によって、式 (1) 及び (3) の  $P(u)$  の大きさは変わる。整数  $u$  上での  $|P(u)|$  の最大値が最小になるよう、その位相  $q_m$  に関して最適化する。

【0028】図8は、128個の2次元波からなるパターンの実空間での表示例である。人間の目に見えるよう濃淡を強調してある。多数の2次元波からなるパターンは、実空間では、見えたとしてもこのようにノイズのようにしか見えない。図9は、そのパターンをDFT(Digital Fourier Transformation) した例である。画面中央が原点で、白い点が個々の2次元波である。図10は、同じパターンを30度回転したものにDFTを施した像である。画面中央が原点で、DFTの像も回転していることがわかる。画像に施された回転、拡大縮小などの幾何変換がDFT像にも反映される。

【0029】☆埋め込み

図12は2次元からなるパターンを画像に埋め込む手順を示す。埋め込みは実空間で画質の劣化を制御しながら行う。2次元波の集まりからなるパターン  $P(u)$  を配列上で事前に計算しておき、人間の目に検知できない、あるいは、気にならない強度で、その配列の値を画像の各画素値に加えたり引いたりする。他の手法による埋め込みパターンと共存を図る場合は、この2次元波からなるパターンは他の埋め込みによって壊れることがほとんどないので先に埋め込み、壊れやすい他の電子透かしの埋め込みを後にすれば良い。2次元波の集まりからなるパターンは、式 (3) を画像の各点で計算し直接画像に埋め込んで良いが、埋め込みパターン  $P(u)$  に周期性をもたせることにより、その周期をサイズとする配列上でのみ事前に計算しておき、その値を画像上の各画素点に加え

るほうが計算の負荷が軽い。正の整数  $N_x$  と  $N_y$  に対し、各波数ベクトル  $w_m = (w_{xm}, w_{ym})$  をその格子点にと

$$w_{xm} = k_{xm} / N_x, \quad w_{ym} = k_{ym} / N_y \quad \text{式 (16)}$$

【0030】ここで  $k_{xm}$  と  $k_{ym}$  とは整数である。このとき、 $P(u)$  は  $x$  軸方向に周期  $N_x$ 、 $y$  軸方向に周期  $N_y$  となる。よって、横  $N_x$ 、縦  $N_y$  の配列上で  $P(u)$  を計算し、

$$w_{xm} = (2 k_{xm} + 1) / 2 N_x \\ w_{ym} = (2 k_{ym} + 1) / 2 N_y$$

【0031】この場合、 $P(u)$  は  $x$  軸方向に周期  $2N_x$ 、 $y$  軸方向に周期  $2N_y$  となるが、その半分の周期  $N_x$ 、 $N_y$  に対し、符号を反転する、すなわち、 $n = (N_x, N_y)$  とすると、次式のようになる。

$$P(u+n) = -P(u) \quad \text{式 (18)}$$

【0032】この場合も、横  $N_x$ 、縦  $N_y$  の配列上で  $P$

$$I'(u) = I(u) + \alpha P(u)$$

9)

【0033】☆2次元波の抽出と線形座標変換の算出2次元波の集まりからなるパターンが埋め込まれた画像から、その画像に施された線形座標変換を求める手続きは、図13に示すように、次の手順からなる。

<1> ステップ1320において、画像にDFTを適用し、得られた像  $G(k)$  に画像処理を行い、2次元波の波数ベクトルの集合  $\{w'_m\}$  を抽出する。

$$d(B) = (1/M) \sum_m |w'_m - B w_m|^2 \quad \text{式 (20)}$$

【0034】または、二乗平均誤差を表す次式を最小に

$$d(B) = (1/\sum_m r_m) \sum_m r_m |w'_m - B w_m|^2 \quad \text{式 (21)}$$

【0035】ここで  $M$  は波数ベクトルの数である。式(21)で比重  $r_m$  が同じければ、式(20)と等価である。

<4> ステップ1350で、 $d(B)$  が所定の値より大きいとき、波数ベクトルの対応を再設定し、ステップ1340に戻る。さもなければ、対応づける抽出した波数ベクトルと埋め込んだ波数ベクトルの対応の数を増加し、ステップ1340に戻る。すべての対応付けが終わり、 $d(B)$  が所定の値より小さいとき、ステップ1360において次式より幾何変換行列である、線形座標変換  $A$  を求める。

$$A = (B^{-1})^T \quad \text{式 (22)}$$

【0036】得られた線形座標変換  $A$  には  $A$  または  $-A$  の不定性がある。さらに電子透かし応用では、本発明の手法以外で埋め込んだ情報を取り出す場合に、式(4)の平行移動量  $b$  を求める必要が生じる。すなわち、次の手続きが必要となる。

<5> ステップ1370で、抽出された2次元波の位相を使って平行移動量  $b$  を求めるか、または／及び、別の手法で埋め込んだ情報の検出信頼度を最大にする平行移動量  $b$  を探索するかする。

以下<1>から<5>の手順をより詳細に説明する。

【0037】<1> 2次元波の抽出

図14は2次元波からなるパターンの埋め込まれた画像

る。

その値を繰り返して使用する。式(16)の代わりに、次式のようにすることもできる。

式 (17)

(u)を計算し、その値を必要に応じて符号反転しながら繰り返して使用する。そして、各画素にパターン  $P(u)$  を加えるとき、その画素点の周りの画像の性質に応じて弱く埋め込む。すなわち、次式のように、 $\alpha$  の値を画素値が滑らかに変わる領域では小さくとる。

$$\text{where } 0 \leq \alpha \leq 1 \quad \text{式 (19)}$$

<2> ステップ1330において、抽出した波数ベクトルと埋め込んだ波数ベクトルとの対応の一部を初期設定(対応を与える)する。

<3> ステップ1340において、設定された対応をもとに二乗平均誤差を表す次式を最小にする行列  $B$  を求める。

する行列  $B$  を求めてもよい。

のDFT像である。図9の2次元波パターンのDFT像との差は、原画像によるものである。図14の示唆するように、埋め込んだ2次元波を抽出するには、変換像のDFT像に適切な処理を行う必要がある。図15は、本発明での変換画像から埋め込んだ2次元波の波数ベクトルの集合  $\{w'\}$  を抽出する手順を示す。

(1) まずステップ1520で、画像の複数の領域でDFTまたはFFTを行い、得られた変換像  $G(k)$  のpower  $|G(k)|$  を足し合わせる。

(2) 次にステップ1530で、足し合わせによって得られた画像  $G_{\text{sum}}(k)$  から、周りより多い値の大きい点を選び出す。

(3) さらにステップ1540で、選び出した点について、その点の値から周りの点の最大値を引き、その値がゼロ以下であれば、棄却し、正であれば、その値で、選び出された点を大きい順にならべる。

(4) 最後にステップ1550で、選ばれた点が原点かまたは原点に非常に近い場合や、その点での  $G_{\text{sum}}(k)$  が残りの点での  $G_{\text{sum}}(k)$  よりはるかに大きい場合、それらの点を取り除き、ステップ1530での大きい順に埋め込んだ2次元波の数を超えない個数の波数ベクトルを抽出する。

【0038】基本原理で述べたように、画像値が実数である条件から、DFTの結果得られた像のpower  $|G(k)|$ 、



また、埋め込み波数ベクトルの集合、抽出の波数ベクトルの集合は原点对称である。従って、この原点对称性を使うことで、ステップ 1 5 2 0 の変換像の power の足し合わせや、ステップ 1 5 3 0 の探索範囲は半分で良い。また、埋め込み波数ベクトルの集合、抽出の波数ベクトルの集合の記憶領域の保存も半分ですむ。ステップ 1 5 2 0 での DFT の領域の幅は埋め込みで  $P(u)$  の配列や周期の幅と同じである必要はない。DFT 領域の幅  $N$  が大きいほうが抽出において原画像との分離や式 (9) の行列  $B$  の算出精度が上がる。DFT で windowing function を使うとより鮮明な像を得ることができる。ステップ 1 5 3 0 で得られる周りの点とステップ 1 5 4 0 で得られる周りの点と同一である必要はない。ステップ 1 5 3 0 は局所最大である点を選択するためであり、ステップ 1 5 4 0 は、他より大きいという事実が偶然ではなく、意図的なものであることを周知より飛びぬけて大きいことにより、確認するためのものである。基本原理その 2 で式 (14) で示したように、波数ベクトルが DFT 上での格子点 ( $w_x = k_x/N$ ,  $w_y = k_y/N$ ) 上でないと、連続した格子

$$\det(w'_m w'_n) = \beta \det(w_m w_n) \quad \text{式 (23)}$$

【0040】ここで  $\det()$  は行列式を表し、すなわち、 $\det(ab) = a_x b_y - a_y b_x$  で、 $\beta$  は  $\beta = \det(B)$  なる

$$\det(w'_m w'_n) = \det(B w_m B w_n) = \det(B (w_m w_n)) = \det(B) \det(w_m w_n) \quad \text{式 (24)}$$

【0041】式 (23) の関係を使って、図 16 または図 17 に示すように、次のように、効率的に対応関係を決めていくことができる。いずれの方法でも、埋め込み波数ベクトルの集合  $\{w\}$ 、抽出波数ベクトルの集合  $\{w'\}$  は原点对称の半部分が記憶域に保存されているものとする。

【0042】【大小関係法】図 16 に示すように、埋め込み波数ベクトルの集合  $\{w\}$ 、抽出された波数ベクトルの集合  $\{w'\}$  について、それぞれ、その波数ベクトルの大小の順に並べ、その間の対応関係を次第に拡大していく。まずステップ 1 6 2 0 で抽出された波数ベクトルの集合、埋め込んだ波数ベクトル集合をその大きさの順に並べる。次にステップ 1 6 3 0 で、抽出波数ベクトルの集合  $\{w'\}$  から、並べた順に、1 つ取り出し、 $w'_m$  をとする。このとき、行列式  $\det(w'_{m-2} w'_m)$  または  $\det(w'_{m-1} w'_m)$  の絶対値が大きいほうに対して、行列式の値が正となるよう、 $w'_m$  の符号を選択する。そしてステップ 1 6 4 0 で、対応付けられていない埋め込み波数ベクトルの集合  $\{w\}$  から、並べた順に、1 つ取り出し、 $w_m$  とする。このとき、ステップ 1 6 3 0 での符号の選択に対応し、行列式  $\det(w_{m-2} w_m)$  または  $\det(w_{m-1} w_m)$  が正になるように  $w_m$  の符号を選択する。そしてステップ 1 6 5 0 で、対応が与えられた  $m$  個の波数ベクトルに対し、次節で述べる方法により、最小の二乗誤差の平均 (式 (20) または式 (21)) を求め、それが十分に小さいかをテストする。十分に小さければ、ステップ 1

点に像として現れる。従って、ステップ 1 5 4 0 で得られる周りの点とは、直接隣接点を除いた近傍の点とした方が結果が良い。

【0039】< 2 > 埋め込んだ 2 次元波と抽出した 2 次波との対応の設定

抽出された波数ベクトルの数を  $M'$ 、埋め込んだ波数ベクトル数を  $M$  とすると、可能な対応関係は、 $M! / (M-M')$  ! 通りとなる。さらに、抽出された波数ベクトルには原画に起因する偽者ものも含まれるので、この組み合わせはもっと増加する。従って、抽出した波数ベクトルと埋め込んだ埋め込んだ波数ベクトルとの対応を効率的に設定することが重要となる。もし、画像に施される幾何的处理が回転、反転、拡大縮小だけであれば、変換  $B$  によって波数ベクトルの大小の順序が変わらない。しかし、波数ベクトルの大小関係の保存は近似的なものにすぎない。一方、変換行列  $B$  で対応付けられ波数ベクトル間には、幾何変換の際に生じる誤差を無視すれば、次の関係は正確に成り立つ。

定数である。この関係は次式により明らかである。

6 7 0 へ進む。もし小さくなければ、ステップ 1 6 6 0 で、試されていない別の埋め込み波数ベクトルを取り出し、 $w_m$  とし、ステップ 1 6 4 0 と同様に  $w_m$  の符号を  $w'_m$  の符号に合わせて調整し、再度ステップ 1 6 5 0 に進む。別の埋め込み波数ベクトルがもう残っていないければ、 $w'_m$  が偽者の抽出波数ベクトルとして、対応関係から除外する。ステップ 1 6 7 0 で、すべての抽出波数ベクトルが、取り出されたとき、対応付けられた波数ベクトルの数が所定の個数に達していれば、処理はステップ 1 6 8 0 で終了する。満たないとき、事前に決めておいた試行回数だけ、 $w'_1$ 、 $w'_2$  の選択を変えて、処理はステップ 1 6 0 に戻る。

【0043】【分解法】まず線形結合の式は以下の通りである。

$$w_m = C_{m1} w_1 + C_{m2} w_2 \quad \text{式 (25)}$$

【0044】分解とは、二つの波数ベクトルで他の波数ベクトルを、上式の係数 ( $C_{m1}$ ,  $C_{m2}$ ) で表すことをいう。この係数は前述の行列式を使って、次のように求まる。

$$C_{m1} = \det(w_m w_2) / \det(w_1 w_2)$$

$$C_{m2} = \det(w_1 w_m) / \det(w_1 w_2) \quad \text{式 (26)}$$

【0045】従って、対応する埋め込み波数ベクトルと抽出波数ベクトルは同じ分解係数を持つ。図 17 に、分解係数を利用した対応関係の作成法を示す。まずステップ 1 7 2 0 で、最初に、抽出された波数ベクトルの集合  $\{w'\}$  と埋め込んだ波数ベクトル集合  $\{w\}$  について、それ

ぞれ、 $\det(w'_m w'_n)$ 、 $\det(w_m w_n)$ を計算しておく。次にステップ 1 7 3 0 で、抽出された波数ベクトルの集合  $\{w'\}$  と埋め込んだ波数ベクトル集合  $\{w\}$  とから、ステップ 1 7 2 0 で求めた行列式の絶対値が大きい順に、それぞれ、二つの波数ベクトル  $\{w'_1, w'_2\}$  と  $\{w_1, w_2\}$  とを選択する。行列式が正になるよう、 $w'_2$  と  $w_2$  の符号をとる。そしてステップ 1 7 4 0 で、選択された  $\{w'_1, w'_2\}$  と  $\{w_1, w_2\}$  とを使って、抽出された波数ベクトル  $w'$  と埋め込んだ波数ベクトル  $w$  とを式 (26) を用いて分解する。そしてステップ 1 7 5 0 で、分解係数と比較し、抽出された波数ベクトル  $w'_m$  と埋め込んだ波数ベクトル  $w_m$  との対応関係を定める。例えば、各埋め込み波数ベクトルをその分解係数がもっとも近い抽出波数ベクトルに対応づけ、このとき、複数の埋め込み波数ベクトルが同一の抽出波数ベクトルに対応付けられたときには、分解係数が最も近いものを対応として一つ選択する。次にステップ 1 7 6 0 で、得られた波数ベクトルの対応関係を二乗誤差を用いて確認し、確認された対応関係の数を数える。例えば、対応の組を順次、増加させながら、次節で述べる方法により、最小の二乗誤差の平均 (式 (20) または式 (21)) を求め、それが大きければ棄却し、小さければ、有効な対応関係として残す。最後にステップ 1 7 7 0 で、有効な対応関係の数が所定の個数に達しており、二乗誤差の平均も小さければ、処理はステップ 1 7 8 0 で終了する。もし満たないときは、事前に決めておいた試行回数だけ、 $\{w'_1, w'_2\}$  と  $\{w_1, w_2\}$  の選択を変えて、ステップ 1 7 3 0 に戻る。

【0046】<3>、<4> 2次元波の対応関係から線形座標変換の算出

画像から抽出された波数ベクトルは、回転・拡大などでの画像のリサンプリングや抽出におけるDFTの量子化幅のため、次式のようにランダムノイズを含んでいるかもしれない。

$$w'_m = B w_m + \text{random noise} \quad \text{式 (27)}$$

【0047】従って、式 (20) または (21) で与えたように、埋め込んだ波数ベクトルに線形変換したものと抽出された波数ベクトルとの二乗誤差の平均または合計を最小化する線形変換  $B$  により、式 (9) の  $B$  を求

$$\begin{aligned} E(b) &= \sum_m p_m \{ 1 - \cos(2p (q_m - q'_m - w'_m{}^T b)) \} \\ &= \sum_m p_m \ 2 \sin^2(p (q_m - q'_m - w'_m{}^T b)) \quad \text{式 (32)} \end{aligned}$$

【0053】 $E(b)$  は複素数面での位相のずれの比重付き和にあたる。計算負荷を軽くするには、式 (32) を近似して簡単に計算を加速するか、または、信頼度の高い少数の2次元波の位相を用いて式 (32) で候補を絞り、その候補の周りですべての確定2次元波の位相を用いて式 (32) を最小化する。

【0054】☆信号とノイズとの分離最大による方法  
2次元波からなるパターンの利用で変換行列  $B$  が求められ、平行移動を除き、画像の回転、拡大縮小などの幾何変換が補正されたとする。平行移動量  $b$  は、2次元波

める。式 (11) のDFTの領域の幅を  $N$  とすると量子化幅は  $1/N$ 、従って、リサンプリングによる影響よりDFTの量子化幅が大きいとすると、仮定された対応関係の棄却の条件は、 $B$  について最小化した二乗誤差の平均が次式を満たす時である。

$$d(B) > (1/N)^2 \quad \text{式 (28)}$$

【0048】式 (20) は式 (21) の特別な場合に当たるので、式 (21) に対し、最小化する行列  $B$  の算出手続きを記述する。行列  $S$  と  $V$  を次式とする。

$$S = \sum_m r_m w_m w_m{}^T \quad \text{式 (29)}$$

$$V = \sum_m r_m w'_m w_m{}^T \quad \text{式 (30)}$$

【0049】この時、式 (21) を最小化する線形変換  $B$  は、次式で求めることができる。

$$B = VS^{-1} \quad \text{式 (31)}$$

【0050】ここで、 $b a^T$  は転置作用素  $T$  の定義に従い、次の成分を有する行列である。

$$b_x a_x \quad b_x a_y$$

$$b_y a_x \quad b_y a_y$$

上式の証明は省略する。

20 【0051】<5> 平行移動量の算出

一旦、変換行列  $B$  が求めると、平行移動量  $b$  は、2次元波からなるパターンの埋め込み・抽出によっても、また、電子透かしの抽出を位置をずらして総あたりで試すことによっても求めることができる。

【0052】☆2次元波からなるパターンの位相を用いる方法

抽出された2次元波の位相と埋め込んだ2次元波の位相との関係、式 (8) をもとに平行移動量  $b$  を求めることができる。ただし、画像からの直接的な測定量はDFT像  $G(u)$  なので、位相  $q'_m$  には  $2\pi$  の整数倍だけの不定性が残る。また、個々の位相  $q'_m$  は埋め込みの際に原画像に起因する2次元波によってみだされている。従って、次に示す手順で平行移動量  $b$  を求める。

(1) 対応の確定した抽出2次元波の位相  $q'_m$  とその信頼度  $p_m$  をDFT像から求める。信頼度は周りの点からの値の差などを使用する。

(2) 平行移動量  $b$  に関して次式を最小化する。

の位相を使わずに、電子透かしの抽出を位置をずらして総あたりで試すことによっても求めることができる。この場合の要点は、総あたりの計算量を減らすために表を使うことと、最善の平行移動量か否かを判定する基準が重要となる。今、多重ビット情報を埋め込む電子透かしが、切り取り耐性のために、同じパターンで画像上に周期的に埋め込まれたとする。また、ブロック (矩形領域) の画素値を入力とし鍵で制御される演算を機構があり、その出力の和の符号で1ビット検出するとする。このとき、次の手順で最前の平行移動量を求める。

(1) 周期で囲まれる領域の各画素点について、それを端点とする矩形領域について先に演算機構に入力し、その値  $f(u, k)$  を求めて表にのせておく。ここで、 $u$  は画素点の位置、 $k$  は鍵で定まるブロックパターンとする。

(2) 周期で囲まれる領域の各画素点について、それを鍵の基準点とし、次式を手順 (1) で作成された表をもとに計算し、最大になる画素点を鍵の基準点とする。

$$S_u M(f(u, k_u)) \quad \text{式 (33)}$$

【0055】 $u$  はビットに対応する表上の値である。 $M$  は信号とノイズを分離する関数で次式で表される。

$$M(x) = \log(|x| + a) \quad \text{式 (34)}$$

【0056】または、式 (34) の近似関数である。もし、鍵の基準点選択が正しければビットは  $f(u, k_u)$  の符号で与えられる。ビットの値は検出装置は知らないの、正か負かはわからないが、ノイズの期待値 ゼロ から離れた値でビット情報が埋め込まれているはずである。従ってゼロとの差異を強調する関数が有効である。

$$M(x) = x^2 \quad \text{より} \quad M(x) = |x| \quad \text{が有効で、} \quad M(x) = |x| \quad \text{より} \quad M(x) = \log(|x| + a) \quad \text{が有効である。}$$

パラメータ  $a$  は  $x=0$  で特異点にならないよう加えてある。対数関数は計算負荷が大きいので、ゼロとの差異を強調する単純増加関数、例えば次に関数を近似関数として使用する。

$$M(x) = -1/(|x| + a) \quad \text{式 (35)}$$

【0057】または

$$M(x) = -1/(|x|^2 + a) \quad \text{式 (36)}$$

【0058】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の 2 次元波埋め込み、画像の幾何変換特定、幾何補正、電子透かしを行うハードウェアの 1 実施例を説明する。図 18 には、本発明において使用されるシステムのハードウェア構成の一実施例を示す概観図が示されている。システム 100 は、中央処理装置 (CPU) 1 とメモリ 4 とを含んでいる。CPU 1 とメモリ 4 は、バス 2 を介して、補助記憶装置としてのハードディスク装置 13 (または MO、CD-ROM 23、DVD 等の記憶媒体駆動装置) と IDE コントローラ 25 を介して接続してある。同様に CPU 1 とメモリ 4 は、バス 2 を介して、補助記憶装置としてのハードディスク装置 30 (または MO 28、CD-ROM 29、DVD 31 等の記憶媒体駆動装置) と SCSI コントローラ 27 を介して接続してある。フロッピーディスク装置 20 はフロッピーディスクコントローラ 19 を介してバス 2 へ接続されている。好ましくは、埋め込む対象となる画像および作成された 2 次元波はハードディスク装置、MO 28、CD-ROM 29、DVD 31 等の記憶媒体駆動装置に記憶され、適宜メモリ 4 などにロードされ処理される。埋め込まれた画像、幾何補正された画像も好ましくは上記記憶媒体駆動装置に記憶される。

【0059】フロッピーディスク装置 20 には、フロッピーディスクが挿入され、このフロッピーディスク等やハードディスク装置 13 (または MO、CD-ROM、DVD 等の記憶媒体)、ROM 14 には、オペレーティングシステムと協働して CPU 等に命令を与え、本発明を実施するためのコンピュータ・プログラムのコード若しくはデータを記録することができ、メモリ 4 にロードされることによって実行される。このコンピュータ・プログラムのコードは圧縮し、または、複数に分割して、複数の媒体に記録することもできる。システム 100 は更に、ユーザ・インターフェース・ハードウェアを備え、入力をするためのポインティング・デバイス (マウス、ジョイスティック等) 7 またはキーボード 6 や、視覚データをユーザに提示するためのディスプレイ 12 を有することができる。また、パラレルポート 16 を介してプリンタを接続することや、シリアルポート 15 を介してモデムを接続することが可能である。このシステム 100 は、シリアルポート 15 およびモデムまたは通信アダプタ 18 (イーサネットやトークンリング・カード) 等を介してネットワークに接続し、他のコンピュータ等と通信を行うことが可能である。またシリアルポート 15 若しくはパラレルポート 16 に、遠隔送受信機器を接続して、赤外線若しくは電波により画像データの送受信を行うことも可能である。原画を外部から取り込む場合は、シリアルポート 15、はパラレルポート 16、もしくは SCSI コントローラ 27 に接続された画像入力装置 (デジタルカメラ、スキャナ、デジタルビデオカメラ等) から画像を取り込む。そのほかフロッピーディスク、CD-ROM などの記録媒体を用いてもよいし、本システムのユーザ・インターフェース・ハードウェアで作成しても構わない。

【0060】スピーカ 23 は、オーディオ・コントローラ 21 によって D/A (デジタル/アナログ変換) 変換された音声信号を、アンプ 22 を介して受領し、音声として出力する。また、オーディオ・コントローラ 21 は、マイクロフォン 24 から受領した音声情報を A/D (アナログ/デジタル) 変換し、システム外部の音声情報をシステムにとり込むことを可能にしている。このように、本発明のシステムは、通常のパーソナルコンピュータ (PC) やワークステーション、ノートブック PC、パームトップ PC、ネットワークコンピュータ、コンピュータを内蔵したテレビ等の各種家電製品、通信機能を有するゲーム機、電話、FAX、携帯電話、PHS、電子手帳、等を含む通信機能有する通信端末、または、これらの組合せによって実施可能であることを容易に理解できるであろう。ただし、これらの構成要素は例示であり、その全ての構成要素が本発明の必須の構成要素となるわけではない。

【0061】図 2 に本発明の幾何補正システムを従来の電子透かしと組み合わせた、幾何変換に耐性を持つ電子

透かしシステムを示す。まずブロック 210 で予め定義され作成された 2 次元波からなるパターンを、原画像 220 に、ブロック 230 で埋め込んだ後、ブロック 240 で電子透かしを埋め込む。このようにしてできた埋め込み画像 250 に、何らかの要因により幾何変換が施されたものが変換画像 260 である。ブロック 270 ではこの変換画像 260 を入力として、埋め込み 2 次元波の抽出を行う。これにより施された幾何変換を算出し、ブロック 280 でその画像に幾何補正を行うことにより原画像の再生を行う。その後、ブロック 290 で電子透かしを検出する。このように本発明の対称軸を持たない 2 次元波を意図的に埋め込み抽出する方法は、電子透かしと独立に単独に機能するので、電子透かし画像への、切抜き、回転、拡大縮小、非等方拡大縮小などが行われても、原画像に施された幾何変換を正確に高速に検出することが可能になる。つまり電子透かし技術に非常に親和性の高い幾何補正が可能となる。

【0062】図 3 は、本発明を印刷物の向きの制御への応用を示した実施例である。まずブロック 310 で 2 次元波パターンを作成する。これをブロック 330 で向きを制御したい原画像 320 に埋め込む。ブロック 340 で、この 2 次元波パターンが埋め込まれた画像を印刷しておく。印刷物が回転、移動した後、ブロック 370 でデジタルビデオカメラ等の画像読み取り装置の出力から埋め込んだ 2 次元波の抽出を行い、幾何変換を算出する。それに基づきブロック 380 で印刷物を所望の方向に回転、移動し、その向き、位置を制御する。デジタルビデオカメラを、CCD センサー等に置き換え、実時間で画像から 2 次元波を検出することにより、工場でのベルトコンベア上の物の向き、位置などを自動制御することも可能である。この場合、印刷物は 2 次元波が埋め込まれた画像が貼られた 3 次元物体でも構わない。また物体そのものに本発明の 2 次元波を埋め込むことも可能である。例えば、製造工程で精密な位置補正を行う必要のある製造物(物体)の表面に直接、本発明の 2 次元波を埋め込む。位置制御を行う場合はデジタルカメラ等の画像から幾何変換を算出し、所望の位置制御を正確に行うことができる。この場合の位置制御とは、回転、拡大縮小、非等方拡大縮小、平行移動等に対応できることに注意されたい。2 次元波が埋め込まれた物体が、製造工程で外的環境(温度、湿度など)の変化により、幾何変換を受けた場合にもその物体の位置制御が可能になる。

【0063】

【発明の効果】本発明により、原画像を用いずに画像に

なされた幾何変換を容易に精度よく高速に求めることができる。また不可視性や画質の劣化の制御が容易な 2 次元波を埋め込み方法及びシステムが提供される。さらに電子透かしを含む画像に対してなされた切抜き、回転、拡大縮小、非等方拡大縮小などを含む幾何変換を、精度よく高速に求めることのできる方法およびシステムが提供される。本発明の 2 次元波を埋め込まれた電子透かし画像が、流通過程で人為的に幾何変換を施されたり、たとえばスキャナー、ファックスなどにより機械的な幾何変換を受けたとしても、その幾何変換を特定し、これを補正することにより電子透かし画像の再生が可能となる。すなわちデジタルコンテンツの流通を促進するための著作権保護等への技術的な手段を提供することができる。

【0064】

【図面の簡単な説明】

【図 1】2 次元波パターンの埋め込みによる幾何補正システム

【図 2】幾何補正システムの電子透かしへの応用

【図 3】幾何補正システムの印刷物の向きの制御への応用

【図 4】2 次元波からなるパターンの作成

【図 5】全域ランダム分布作成法

【図 6】細胞ランダム分布作成法

【図 7】螺旋ランダム分布作成法

【図 8】細胞ランダム分布の作成例の実空間での表示

【図 9】細胞ランダム分布の作成例の DFT 像

【図 10】画像の回転に伴う 2 次元波パターンの DFT 像での回転

【図 11】螺旋ランダム分布の作成例の DFT 像

【図 12】2 次元波パターンの埋め込みの手順

【図 13】2 次元波パターンから幾何補正情報抽出の手順

【図 14】2 次元波パターンの埋め込まれた画像の DFT 像

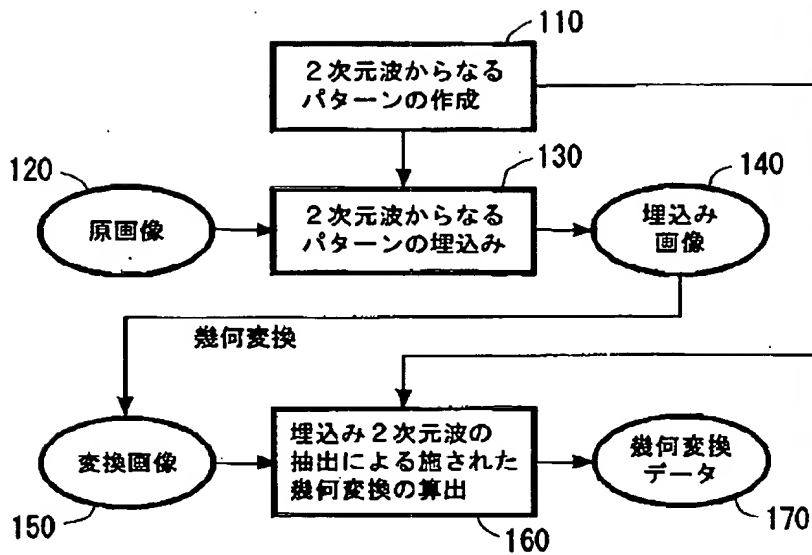
【図 15】画像から波数ベクトルの抽出手順

【図 16】埋め込まれた波数ベクトルと抽出された波数ベクトルの対応関係の作成-1

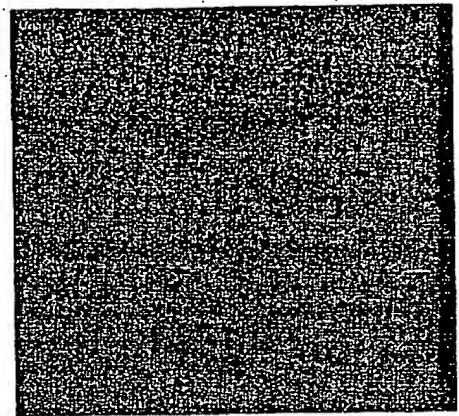
【図 17】埋め込まれた波数ベクトルと抽出された波数ベクトルの対応関係の作成-2

【図 18】本発明の 2 次元波埋め込み、画像の幾何変換特定、電子透かし、幾何補正、位置制御を行うハードウェアの 1 実施例である。

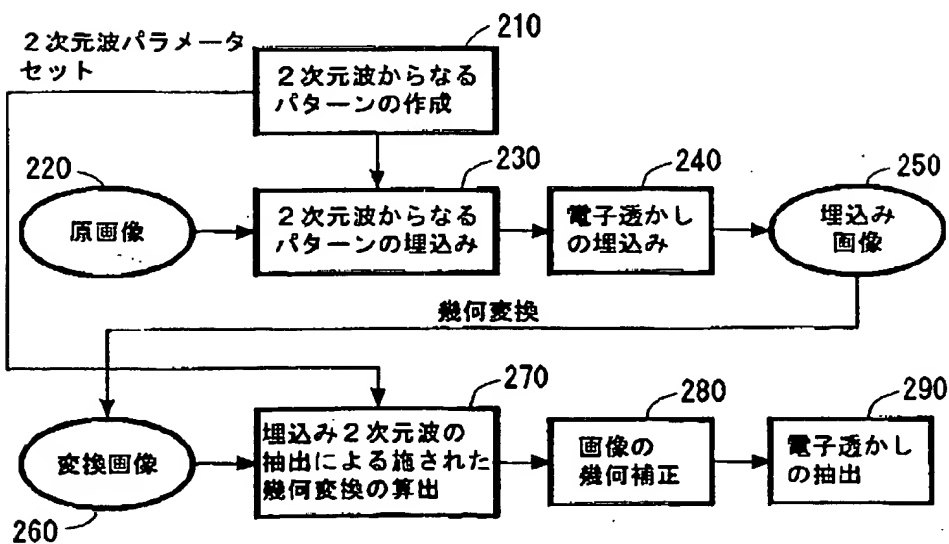
【図1】

2次元波パターンの埋込みによる  
幾何補正システム

【図8】

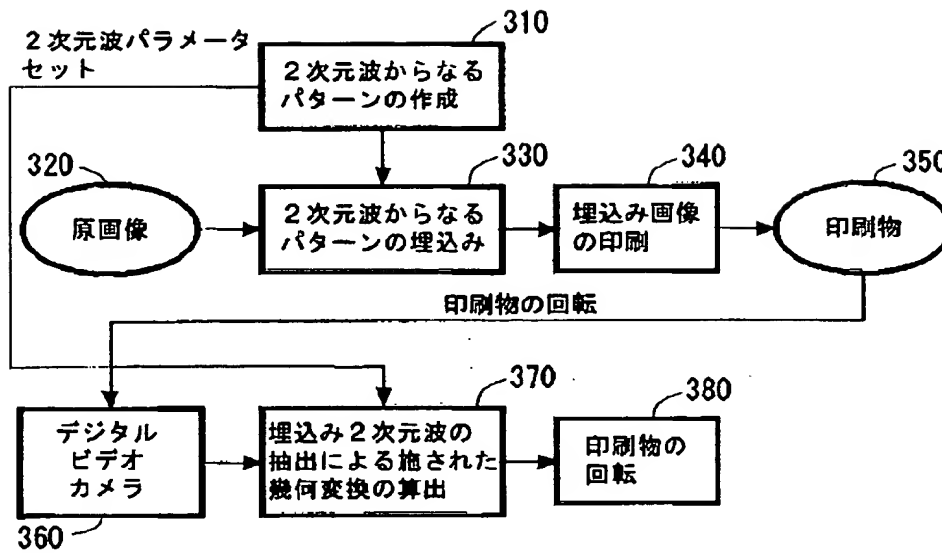


【図2】



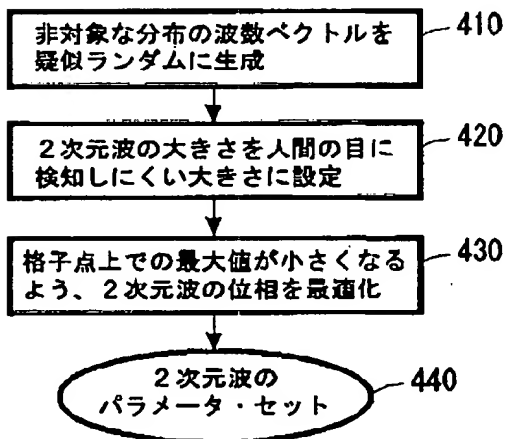
幾何補正システムの電子透かしへの応用

【図 3】



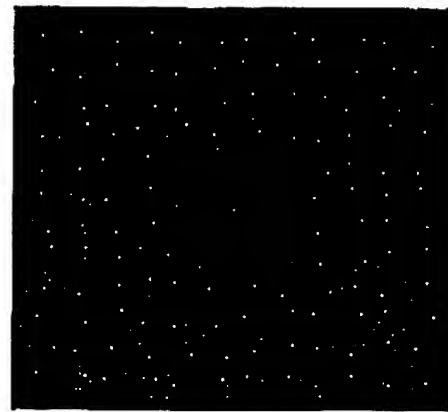
幾何補正システムの印刷物の向きの制御への応用

【図 4】

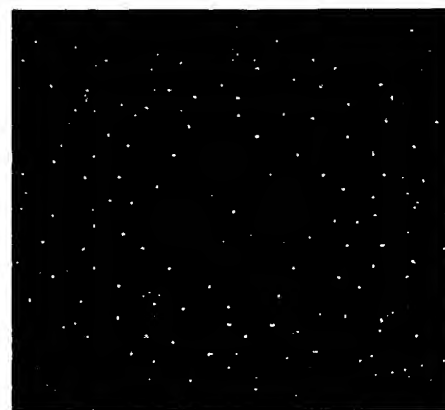


2次元波からなるパターンの作成

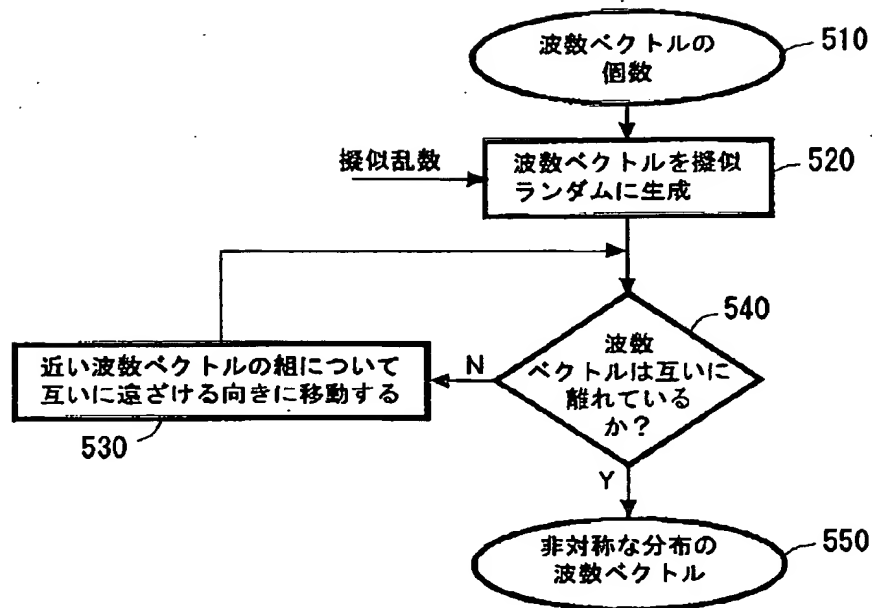
【図 9】



【図 10】

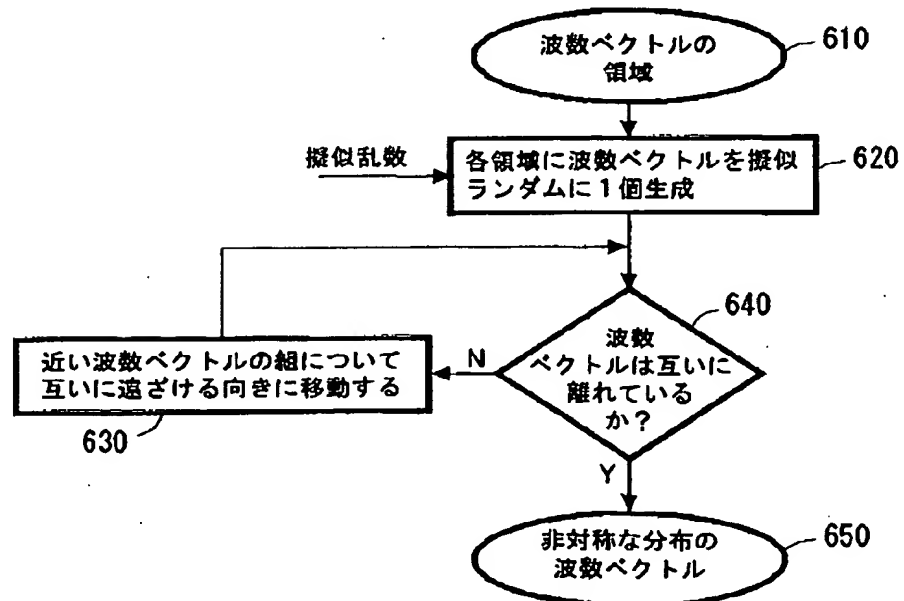


【図5】



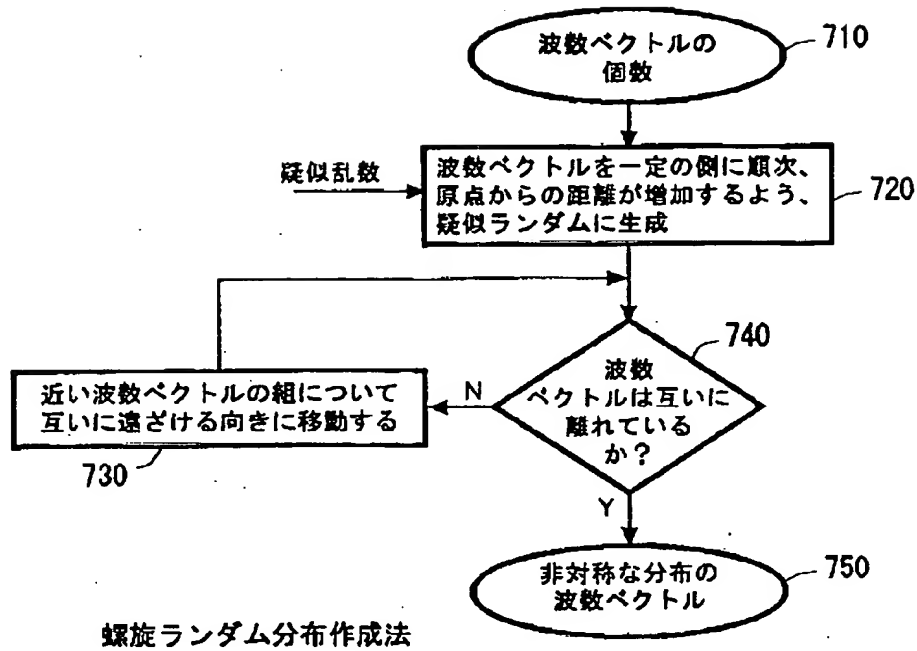
全域ランダム分布作成法

【図6】

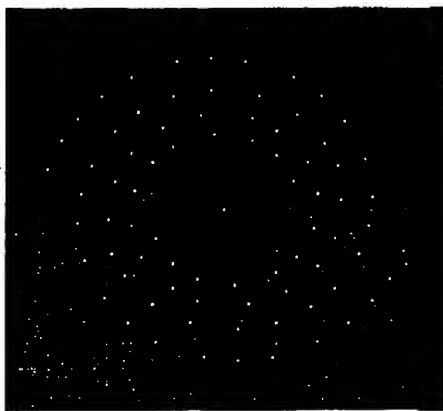


細胞ランダム分布作成法

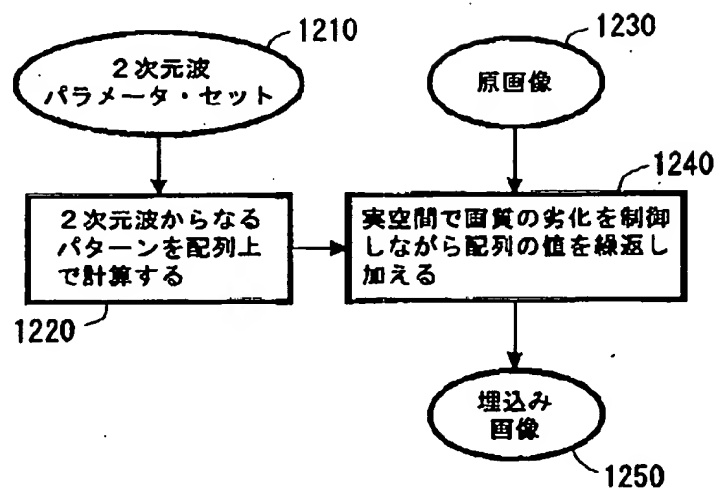
【図 7】



【図 1 1】



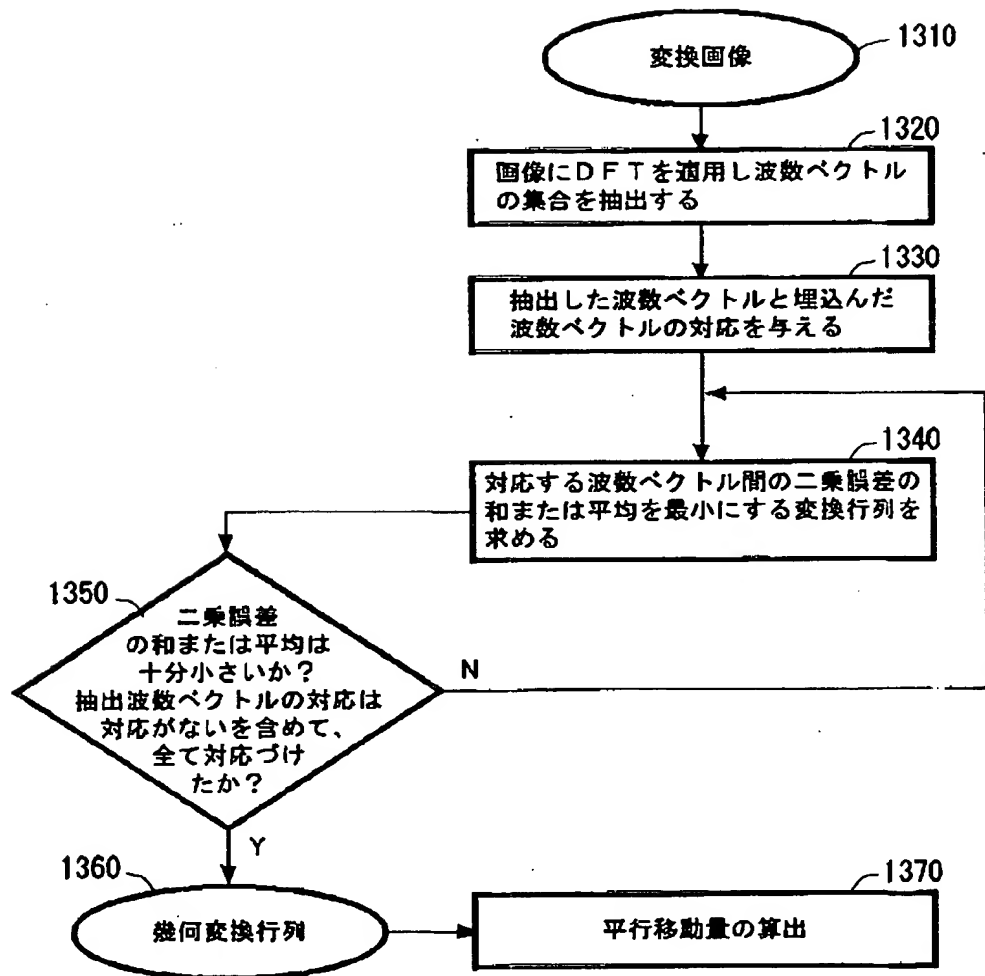
【図 1 2】



2次元波パターンの埋込みの手順

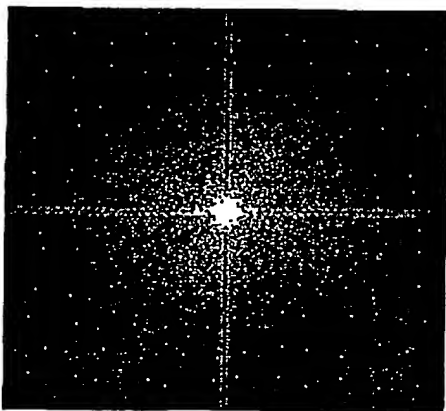


【図13】

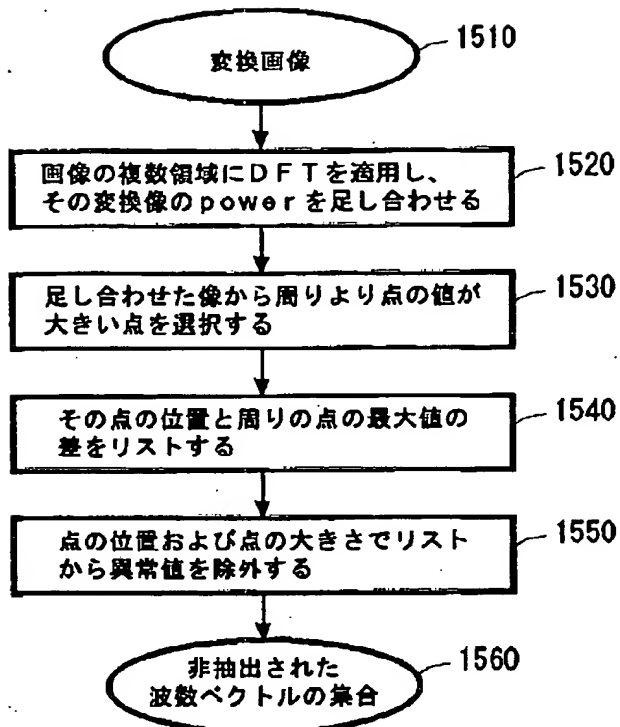


2次元波パターンから幾何補正情報抽出の手順

【図14】

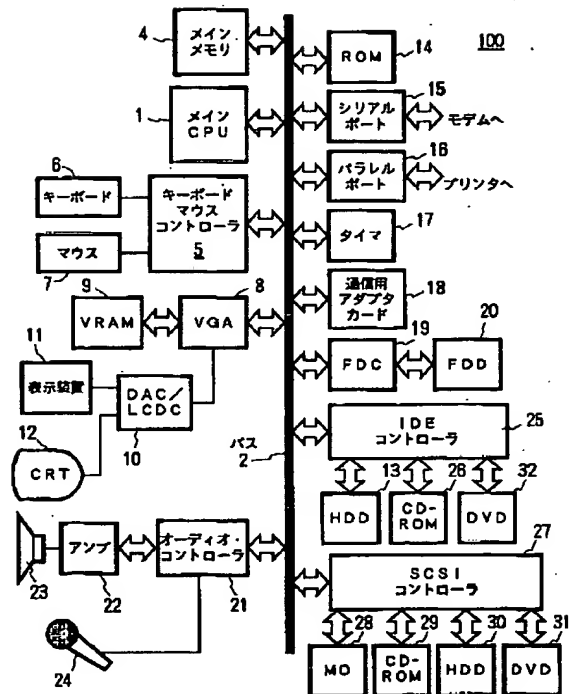


【図 15】

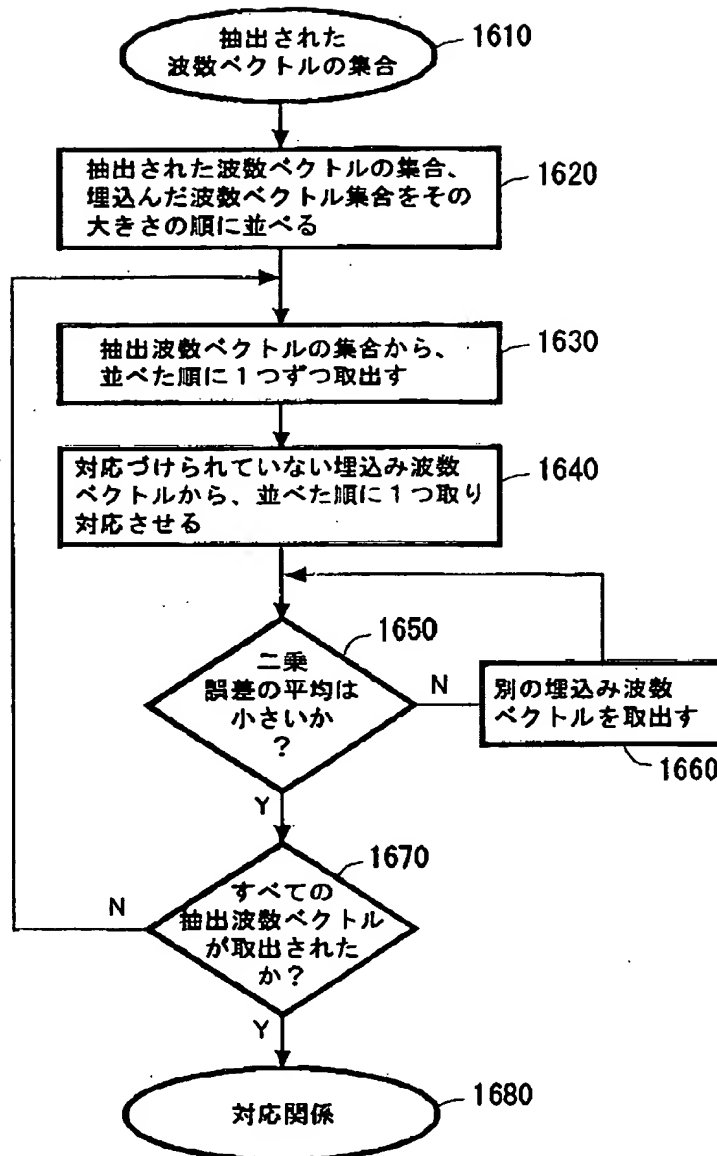


画像から波数ベクトルの抽出手順

【図 18】

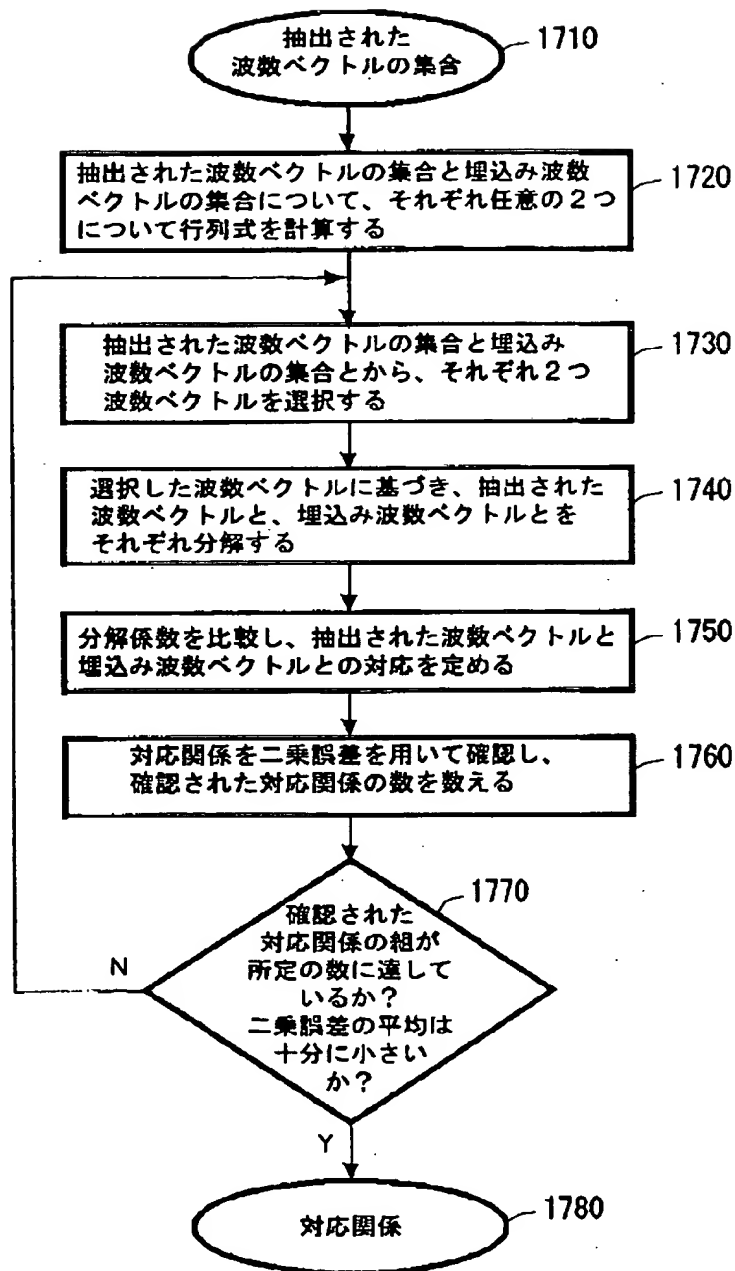


【図 1 6】



埋込まれた波数ベクトルと  
抽出された波数ベクトルの対応関係の作成－1

【図 17】



埋込まれた波数ベクトルと  
抽出された波数ベクトルの対応関係の作成－2

フロントページの続き

(72) 発明者 小出 昭夫  
神奈川県大和市下鶴間1623番地14 日本ア  
イ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所  
内